

Магнитогидродинамический метод расчета некоторых параметров течения и кристаллизации жидкого металла

Макаров Богдан Борисович

Дубский Геннадий Алексеевич

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова

Дубский Геннадий Алексеевич, к.ф.-м.н.

nexusbionics@yandex.ru

Магнитогидродинамические методы (МГД - методы) в настоящее время все чаще начинают применяться в литейном производстве, в том числе и в МНЛЗ (машина непрерывного литья заготовок) для устранения усадочной рыхлости кристаллизующегося металла, а также для управления процессом кристаллизации, то есть воздействие на кристаллическую структуру формирующегося слитка. При этом формируемые магнитные поля, воздействующие на расплав металла, могут быть постоянные, переменные, бегущие или вращающиеся. Каждое из этих полей оказывает своё специфическое воздействие на расплав металла при его кристаллизации. Кроме этого, возникают дополнительные эффекты в кристаллизующемся в магнитном поле металле, если расплав движется в этом поле.

Так при воздействии на статический расплав цинка алюминия и цинковой бронзы постоянного импульсного и вращающегося магнитных полей при их кристаллизации выявлено отсутствие столбчатых кристаллов (дендритов) и по всему сечению цилиндрической формы достигнута мелкозернистая структура, характерная для зоны равноосных кристаллов [1]. Подобный результат связывается с изменением термодинамических и кинетических параметров кристаллизации, а также перемешиванием жидкого металла в процессе его охлаждения приводят к раздроблению столбчатых кристаллов у стенок формы и заносят центры кристаллизации в глубь жидкого металла [2,3].

Цель теоретического исследования: используя МГД метод рассчитать профиль скоростей текущего металла в ограниченных плоскостях, а также выявить величину магнитного поля «сноса» и установить их влияние на кристаллизационные характеристики жидкого металла.

В данной работе предлагается аналитическое решение следующих задач:

Задача №1. Рассчитать профиль распределения скоростей и среднюю скорость ламинарного течения несжимаемого жидкого металла между параллельными плоскостями при действии на него постоянного магнитного поля – HO (А/м) в направлении перпендикулярном плоскостям, если металл имеет конечную проводимость – σ (Сим) и магнитную проницаемость – μ , близкую к единице. Найти величину – Nx (поле «сноса») в направлении скорости течения металла.

Для решения данной задачи возьмём за основу систему МГД уравнений из «Электродинамика сплошных сред» Ландау Л.Д. [4]

В случае несжимаемой проводящей жидкости имеющей $\mu \approx 1$, система уравнений имеет следующий вид:

$$\begin{cases} \operatorname{div} \vec{H} = 0, \operatorname{div} \vec{E} = 0, \\ \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{H} = (\vec{H} \nabla) \vec{V} + \frac{c^2}{4\pi\sigma} \Delta \vec{H}, \\ \frac{\partial \vec{V}}{\partial t} + (\vec{V} \nabla) \vec{V} = \frac{1}{\rho} \nabla \left(P + \frac{H^2}{8\pi} \right) + \frac{1}{4\pi\rho} (\vec{H} \nabla) \vec{H} + \nu \Delta \vec{V} \end{cases}$$

$\vec{\nabla} = \frac{\partial}{\partial x} \vec{i} + \frac{\partial}{\partial y} \vec{j} + \frac{\partial}{\partial z} \vec{k}$ – вектор Набла (градиент);

$\Delta = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа;

σ – проводимость жидкого металла (Сим = (Ом · м)⁻¹);

ρ – плотность (кг/м³);

$\nu = \frac{\eta}{\rho}$ – кинематическая вязкость (м²/с)

Таким образом, поскольку, включение магнитного поля влияет на значение коэффициентов теплопроводности, динамической вязкости жидкого металла и коэффициент диффузии атомов расплава в сторону фронта кристаллизации и обратно, что должно отражаться на скорости зарождения центров кристаллизации, их росте, а также на линейной скорости роста толщины закристаллизовавшегося металла (скорости движения фронта кристаллизации).

Задача №2. Провести теоретическую оценку величины механического вращательного момента, действующего со стороны вращательного магнитного поля на единицу стационарного объема расплавленного металла (магнетика), находящегося внутри статора цилиндрической формы радиуса – R и высоты L . Статор четырех полюсный (число пар полюсов – 2). Ток через обмотки полюсов – двухфазный. Ток I_2 сдвинут по фазе на $\pi/4$ относительно тока I_1 .

Для того, чтобы провести оценку величины механического вращательного момента, действующего на магнетик (расплавленный металл), требуется поясняющий рисунок (рис. 1)

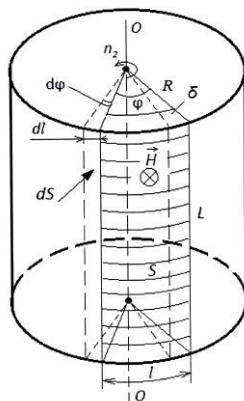


рис.1. Цилиндр магнетика, находящийся между полюсами статора (заштрихованная поверхность цилиндра соответствует площади полюса статора)

Возбуждаемое, таким образом, вращение жидкого металла позволяет изменять условия кристаллизации и получать заданную зерно-границную структуру формируемого слитка за счет слома растущих дендритов, и изменения кинетики образования центров кристаллизации и линейной скорости роста кристаллов.

Новизна данного исследования заключается в том, что большая часть работ связанных с влиянием магнитных полей на кристаллизационные свойства жидких металлов, являются экспериментальными. Теоретических работ по данному направлению, практически, нет. Данный факт затрудняет понимание связи свойств формируемой структуры с внешними и внутренними параметрами, определяющими кинетику и термодинамику процесса кристаллизации.

Список публикаций:

- [1] Вдовин К.Н., Дубский Г.А., Егорова Л.Г. Влияние магнитного поля на процесс кристаллизации алюминиевых расплавов. // Известия высших учебных заведений. Цветная металлургия. 2018. №2. С. 34-42
- [2] Мочанов П.П., Гецелев З.Н. Литье в электромагнитные кристаллизаторы. // Цветные металлы. 1970. №8. С.62, 63.
- [3] Микельсон А.Э., Фолифоров В.М. МГД-методы и устройства в промышленности. // МГ. 1975. №1. с.129-140.
- [4] Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. // Теоретическая физика. Электродинамика сплошных сред. т.8. М.: Наука, 1982.

Электронное строение деформированных германеновых нанолент

Маринина Екатерина Владимировна

Лебедева Ольга Сергеевна

Волгоградский государственный университет

Лебедев Николай Геннадьевич, д.ф.-м.н.

y-marinin@mail.ru

Германен - близкий родственник графена, представляющий собой двухмерную кристаллическую решётку из атомов германия [1, 2]. Этот тонкий слой упорядоченных атомов германия способен проявлять ни с чем не сравнимые оптические и электрические свойства и сможет использоваться во многих устройствах электроники в будущем. Разнообразие молекулярных и кристаллических структур на основе германена связано со строением электронных оболочек атома германия, который дает возможность образовывать соединения с различной координацией наподобие атома углерода. Малая запрещенная щель германена поддается управлению электрическим полем, адсорбцией различных атомов, деформацией и взаимодействием с подложкой [1, 2]. Поэтому он может быть использован, например, в качестве материала для полевого транзистора. Германен обладает высокой энергией спин-орбитального взаимодействия (24 мэВ), что приводит к